

文章编号 1004-924X(2009)08-1804-06

基于 EPICS 的 SSRF-X 射线小角散射 实验站运动控制系统

刘 倩^{1,2}, 边风刚¹, 柳 义¹, 王 劫¹, 夏绍建¹

(1. 中国科学院 上海应用物理研究所, 上海 201800;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:运动控制系统是上海光源(SSRF)X射线小角散射(SAXS)实验站建设的重要组成部分,该控制系统通过对实验站运动部件的远程精确控制来实现对光斑的准直调节和寻找最佳的散射实验样品放置位置,以满足不同用户的实验环境要求。该系统采用国际加速器控制界称为“标准模型”的分布式控制体系结构,应用 EPICS 软件实现了对实验站的 23 个运动部件的远程运动控制,被控设备包括两个四刀口单色光狭缝及其三维狭缝支撑平台、七维样品台和两个 Beam-Stop。运动测试结果表明:系统的运动分辨率最大为 20 μm ,最小为 0.333 33 μm ,运动误差约为 1%。测试结果满足小角散射实验站运动控制的要求,具有高的稳定性、可重复性和精度。目前该系统已成功应用于 SSRF-SAXS 实验站的调试运行。

关键词:上海光源;小角散射;运动控制;EPICS

中图分类号:TL503.6;TP872 **文献标识码:**A

EPICS-based motion control system of SSRF-SAXS

LIU Qian^{1,2}, BIAN Feng-gang¹, LIU Yi¹, WANG Jie¹, XIA Shao-jian¹

(1. *Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;*

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The motion control system of moving components in the Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) Small-angle X-ray Scattering (SAXS) station is an important part of the facility construction, which is applied to accommodate light spots and find the best position of the scattering sample to satisfy the different experiment demands of the users. The system is a distributed control system recognized as the “standard model” in large accelerator laboratories in the world and is developed based on the large-scale software EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System). It implements controls for 23 moving components of two four-jaw slits, two slit-bases, a sample-stage and two Beam-Stops. The moving test results indicate that the resolutions of moving components are from 0.333 33 μm to 20 μm and the error is about 1%. The test results can satisfy the requirements of the

收稿日期:2008-09-24;修订日期:2008-10-27.

基金项目:国家重大科学工程项目-上海光源工程

SAXS station and show advantages in the stability, repeatability and higher precision of the system. Now, the system has been successfully applied to debugging and running in the station.

Key words: Shanghai Synchrotron Radiation Facility(SSRF); Small-angle X-ray Scattering(SAXS); motion control; EPICS

1 引 言

上海同步辐射光源,是一台世界先进的中能第三代同步辐射光源,它由 150 MeV 电子直线加速器、3.5 GeV 增强器、3.5 GeV 电子储存环以及沿环外侧分布的同步辐射光束线和实验站组成。其中直线加速器和增强器位于储存环内侧,3.5 GeV 电子储存环产生高性能的同步辐射光。它具有建设 60 条以上光束线和上百个实验站的能力,这些光束线和实验站将满足不同的实验要求和科学目标。X 射线小角散射光束线是由储存环弯转磁铁 1 度处引出的弯铁光源光束线,是上海光源首批建造的七条光束线中第一条调光成功的光束线。其科学目标是面向化学、材料科学、生命科学等领域,以聚合物、纳米材料、生物分子、液晶等为主要研究对象,提供一个以常规小角散射为主、兼顾反常小角散射、掠入射小角散射、小角散射和广角散射同时测量、以及动态过程研究的实验平台。

运动控制系统是 SSRF X 射线小角散射实验站的重要组成部分,本文重点介绍了控制系统中运动部件的布局 and 运动系统的体系结构,使用光

学三维坐标测量仪和百分表对运动部件的运动情况进行了测试,给出了测试结果。

2 实验站运动部件布局

SSRF-X 射线小角散射实验站控制系统布局如图 1 所示^[1]。

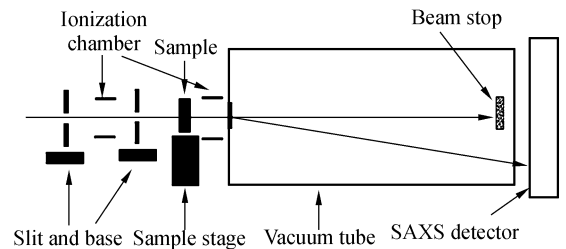


图 1 SSRF-X 射线小角散射实验站控制系统布局
Fig. 1 Layout of control system in SSRF-X SAXS station

实验站运动元件主要包括两个用于阻挡寄生散射和杂散光的单色光四刀狭缝及其支撑台,用于掠入射小角散射实验的七维运动样品台和用于阻挡直通光束的 Beam-Stop 等^[1]。其中包括 3 个转动部件和 20 个平动部件。各部件主要参数分别如表 1、表 2、表 3、表 4 所示:

表 1 单色光狭缝参数(ADC SL-200)

Tab. 1 Parameters of monochromatic slits(ADC SL-200)

电机	驱动器	行程(mm)	重复精度	运动	分辨率(μm)
4 线/2 极	SLS2003L	25	$\leq 5\mu\text{m}$	平动/四刀	1
	2 细分				

表 2 狭缝支撑台参数

Tab. 2 Parameters of slit bases

电机	驱动器	行程(mm)	运动	螺杆导程(mm)	分辨率(μm)
4 线/2 极	SLS2003X	水平 50	平动/三维	4	20
	2 细分	垂直 100			1

表 3 七维运动样品台参数

Tab. 3 Parameters of 7 dimensional sample stage

运动台	电机	驱动器	行程	重复精度	螺杆导程	运动	分辨率
SGSP60-10ZF	5 线	SLS 2015	10 mm	0.01 mm	1 mm	平动/一维	2 μm
MVS202	4 线/2 极	SLS2003X	100 mm	0.005	传动比 45:1	平动/一维	0.333 33 μm
MTS101	4 线/2 极	SLS2003X	50 mm	<0.005 mm	4 mm	平动/一维	20 μm
MTS103	4 线/2 极	SLS2003X	150 mm	<0.005 mm	4 mm	平动/一维	20 μm
MRS102	4 线/2 极	SLS2003X	360°	<0.005°	传动比 180:1	转动	0.01°
MGC102	4 线/2 极	SLS2003X	+20°	0.005°	传动比 494:1	转动	0.003 644°
MGC102C	4 线/2 极	SLS2003X	+20°	0.005°	传动比 718:1	转动	0.002 507°

表 4 Beam-stop(M061-CS02)

Tab. 4 Parameters of beam-stops(M061-CS02)

电机	驱动器	行程(mm)	重复精度	运动	分辨率(μm)
6 线/单极	SLS2001 2 细分	24	$\leq 5 \mu\text{m}$	平动/二维	1.587 5

3 控制系统

EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System)由美国 Argonne 和 Los Alamos 等实验室联合开发、基于标准模型的客户机/服务器模式的分布式控制系统软件工具集,具有可移植性、可互操作性、可裁减性以及可重用性等特点;大量实例证明,EPICS 还具有运行稳定、系统结构灵活、开放性好、可扩展性好、国际交流协作方便等诸多优点;同时对于开发出的版本中大量工具都是免费的且提供技术支持,因此,现已逐渐成为国际高能加速器控制系统的一个主流软件开发工具。SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统采用 EPICS 分布式控制体系结构,主要任务是在 EPICS 软件环境下对实验站的运动元件中的步进电机进行控制^[2-3]。

基于 EPICS 的光束线运动控制系统由上层操作员界面(Operator Interface, OPI)、I/O 控制器(Input/Output Controller, IOC)和连接 OPI 和 IOC 的局域网(LAN)组成。如图 2 所示^[4]:

OPI:运行 Linux 操作系统的 PC 机,采用 EPICS 的工具软件 edm 来设计系统的显示和控制界面^[5],并可以运行报警与存档软件等。

IOC:运行分布式数据库,通过记录支持程

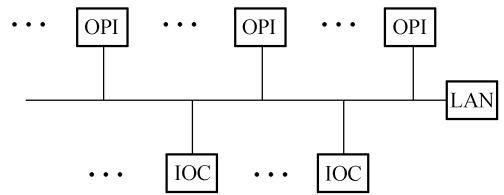


图 2 EPICS 控制系统物理架构

Fig. 2 Physical structure of a control system implemented via EPICS

序、设备支持程序和驱动程序访问 I/O 设备。在 VME 机箱中装载 CPU 板卡和运动控制器。CPU 板卡:采用 Motorola 公司 Power PC 系列的高性能的 MVME5500,运行实时操作系统 vx-Works、运动控制器 MAXv 的驱动程序以及动态数据库(run-time database);运动控制器^[6](电机控制器)板卡:采用 Oregon Micro Systems (OMS)公司的 MAXv 系列的 VME 总线多轴运动控制器,应用于步进系统。电机控制器和电机驱动器安装在实验棚屋外侧的控制机柜里,驱动器与电机之间的距离较远,所以对连接两者间的电缆要求高,以减少电磁干扰和地回路的影响。SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统采用规格型号为 KYU6 \times 0.25+4 \times 2 \times 0.75 的订做信号电缆,经机械工业电工材料及特种线缆产品

质量监督检测中心检测通过测试。

LAN:基于 TCP/IP 协议的通道访问机制建立 OPI 和 IOC 之间的数据通讯,通过一个华硕 GX1008X 型 10/100Mbps 的快速以太网交换机实现^[7]。

MAXv 控制开环的步进系统的基本方式为“脉冲+方向”,如图 3^[8]。STEP 脉冲频率决定电机的起跳速度、运行速度以及加速度,STEP 脉冲个数决定电机转过的角度,DIRECTION 信号决定电机转动的方向。

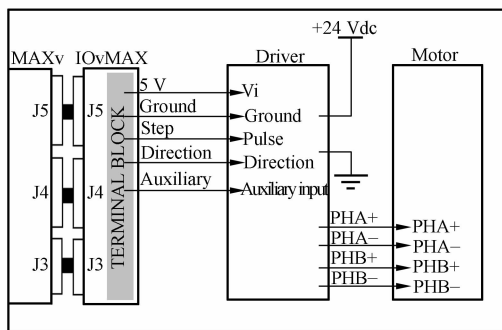


图 3 MAXv 控制器与步进驱动器/电机连接线路示意图
Fig. 3 Wiring diagram of MAXv controller connected to a stepper driver/motor

基于 EPICS 的 SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统软件的核心是 motor 记录,其软件层次结构如图 4 所示^[9]。

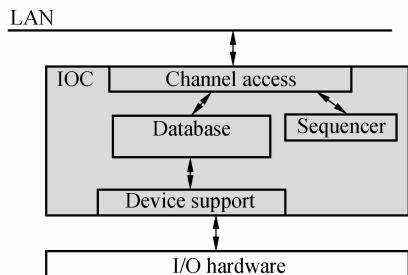


图 4 IOC 的主要软件组成结构

Fig. 4 Major software components of an IOC (IOC Core)

运动控制器 MAXv Driver Support 层的基本思路是通过 4k 字节大小的共享地址空间 (Shared Address Space) 的写操作、读操作来实现向 MAXv 发送指令以及从 MAXv 读取响应。SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统采用 EPICS Base R3. 14. 8. 2, 与之对应的 motor 版本

是 MotorR6-2-2。

对步进电机的控制,主要是设置好 motor 记录中的以下个域:VBAS(起跳频率)、VELO(运行频率)、ACCL(加速度)以及 MRES(步长)。为了保护设备,需要使空闲时 SMD 关闭对步进电机的驱动,这样就要用 MAXv 的“AF”命令使能(enable)SMD 的各轴后,插在机箱中的驱动器才能接收 MAXv 的控制信号,驱动与之相连的步进电机。以下为 motor 记录实例,如图 5 所示:

```
record(motor,"X16B1:EH:Slit4:TRDOWN")
{
  field(DTYP,"OMS MAXv")
  field(DESC,"X16B1:EH:Slit4:TRDOWN")
  field(VBAS,"800.0")
  field(VELO,"1200.0")
  field(OUT,"#COS3@")
  field(SREV,"400.0")
  field(MRES,"1")
  field(PREC,"3")
  field(DHLM,"27000")
  field(DLLM,"0")
  field(RTRY,"0")
  field(TWV,"1")
  field(EGU,"µm")
  field(INIT,"AN")
  field(PREM,"AF")
  field(POST,"AN")
}
```

图 5 控制数据库 motor 记录实例

Fig. 5 Example of motor record in control database

4 控制界面及测试

基于 EPICS 的 SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统已经经过不断调试进入运行阶段。图 6 为主程序的控制操作界面,图 7 为主要运动部件的控制操作调试界面。

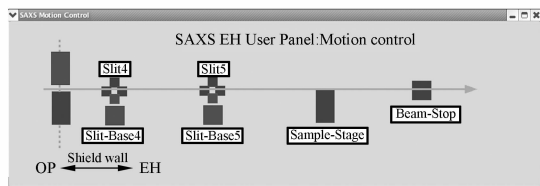


图 6 主程序的控制操作界面

Fig. 6 Top level interface for control operation

图 8 为各主要部件的运动控制界面,其中两个四刀口的单色光狭缝为联动,操作用户直接输入狭缝开口距离即可,数据库中将把输入距离值

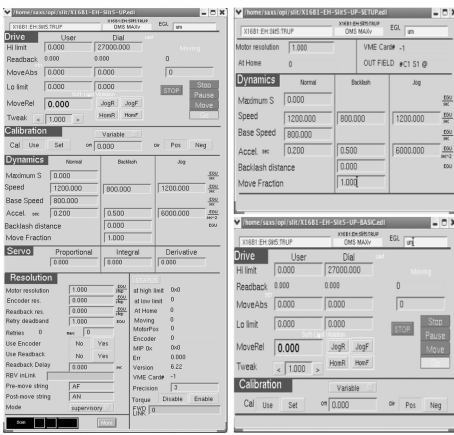


图 7 主要运动部件的控制操作调试界面

Fig. 7 Debug interfaces for main components of movement control operation

转化为四个刀口电机的相应运动量。通过光学定位测定开口最大位置时刀片边缘距离,作为寻找狭缝光学中心基准;其他运动部件单独运动。运动的距离和方向是以当前位置的 readback 值为参照点的相对位移。

通过使用光学三维坐标测量仪和百分表对运动部件的运动情况进行了测试,测试结果满足 SSRF-X 射线小角散射实验站运动控制系统的精度要求。图 9 为部分运动的测试结果。

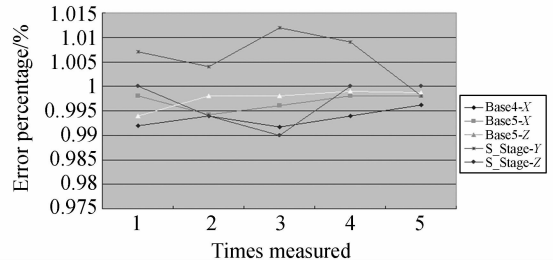


图 9 部分运动部件的运动测试结果

Fig. 9 Moving test results of some components

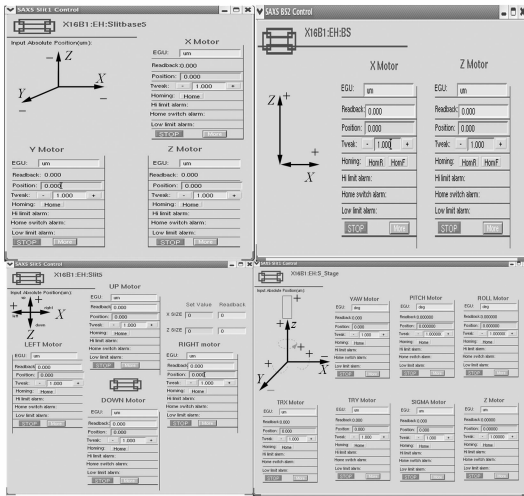


图 8 主要运动部件的控制操作界面

Fig. 8 Movement control interfaces of main components

5 结论

根据 SSRF-X 射线小角散射实验站的部件远程运动控制要求,运动控制系统应用 VME 系统、EPICS 软件和 MotorR6-2-2 数据库实现对实验站的两个单色四刀口光狭缝及其三维支撑台、七维运动样品台和 Beam-Stop 的运动控制,其中包括 3 路转动运动部件和 20 路平动运动部件,系统经过调试和测试已进入应用阶段。实验结果表明,最大的运动分辨率为 20 μm,最小的运动分辨率为 0.333 33 μm,运动误差约为 1%,结果满足 SSRF-X 射线小角散射实验站对运动控制系统的要求。

参考文献:

[1] 夏绍建,张耀明,邹丽新.用于同步辐射光束线工程的三维精密调整平台[J].光学精密工程,2002,10(6):578-581.
 XIA SH J, ZHANG Y M, ZOU L X. High precision 3-D stage for synchrotron radiation beamline engineering [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(6):578-581. (in Chinese)
 [2] 雷凯,邹丽新,张耀明,等.同步辐射光束位置监测

系统中电细分控制技术[J].光学精密工程,2003,11(3):276-280.
 LEI K, ZOU L X, ZHANG Y M, et al.. Subdivision control technique in synchrotron radiation beam position monitoring system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003,11(3): 276-280. (in Chinese)
 [3] 米清茹,郑丽芳,刘松强. EPICS 控制系统软件开发环境[J].核技术,2008,30(1):1-4.
 MI Q R, ZHENG L F, LIU S Q. EPICS software development environment[J]. *Nuclear Techniques*,

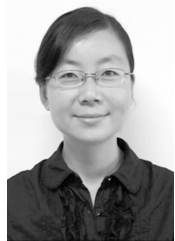
2008,30(1):1-4. (in Chinese)

- [4] MARTIN R K. *EPICS Input / Output Controller (IOC) Application Developer's Guide*[M]. EPICS Release 3.13.0beta12, Argonne National Laboratory, 1998.
- [5] 杨树臣,刘建芳,杨志刚. 外驱动双向推力型压电步进精密驱动器研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4):652-657.
- YANG SH CH, LIU J F, YANG ZH G. Study on outer driving precision PZT linear step actuator[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4): 652-657. (in Chinese)
- [6] 刘强,张从鹏. 直线电机驱动的 H 型气浮导轨运动平台[J]. 光学精密工程, 2007, 15(10):1540-1546.

LIU Q, ZHANG C P. H-type air-bearing motion stage driven by linear motors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10):1540-1546. (in Chinese)

- [7] 胡勇,郑丽芳. 基于 EPICS 的运动控制系统[J]. 核电子学与探测技术, 2007, 27(6):1175-1178.
- HU Y, ZHENG L F. EPICS-based motion control system[J]. *Nuclear Electronics & Detection Technology*, 2007, 27(6): 1175-1178. (in Chinese)
- [8] PRO-DEX, JNC. User's Manual Intelligent Motor Controllers [EB/OL]. <http://www.omsmotion.com/media/MAXvmana.pdf>, 2-6.
- [9] MACLEAN J. *Getting Started with EPICS Lecture Series*[R]. Argonne National Laboratory, 2004. 08.16.

作者简介:



刘倩(1981—),女,河北秦皇岛人,2004年于北京理工大学获得学士学位,现为中科院上海应用物理研究所博士研究生,主要从事散射实验站控制系统和数据采集系统的研究。E-mail: liuqian@sinap.ac.cn



边风刚(1977—),男,河北鹿泉人,工学博士,副研究员,2002年于河北工业大学获得硕士学位,2006年于中科院上海光学精密机械研究所获得博士学位,主要从事光束线建设和实验数据采集与获取技术的研究。E-mail: bianfeng-gang@sinap.ac.cn



柳义(1962—),男,浙江临海人,理学博士,副研究员,1991年于大连理工大学获得硕士学位,2001年于中科院高能物理研究所获得博士学位,2003年在中国原子能科学研究院博士后流动站出站,主要从事同步辐射应用技术的研究。E-mail: liuyi@sinap.ac.cn



王劫(1963—),男,安徽合肥人,理学博士,研究员,硕士生导师,1988年于中科院安徽光学精密机械研究所获得硕士学位,1995年于中科院上海光学精密机械研究所获得博士学位,主要从事上海光源 X 射线小角散射光束线站的设计、建设及其应用研究以及上海光源源线光学系统的设计与建设工作。E-mail: wangjie@sinap.ac.cn

导师简介:



夏绍建(1939—),男,河北保定人,研究员,博士生导师,1964年毕业于清华大学,曾在美国 BNL-NLSL 和日本 KEK-PF 长期从事同步辐射光束线工程技术研究和工程设计与建造,先后主持或参与北京正负电子对撞机、同步辐射光束线等项目,现负责上海光源光束线及关键设备设计和先进光束线技术研究任务,其中光束线关键设备设计包括:晶体单色器、大尺寸聚焦镜压弯机构、精密狭缝、光束位置探测器、精密位移装置设计等。E-mail: xiashaojian@sinap.ac.cn